

Modélisation Transactionnelle des Systèmes sur Puces en SystemC Ensimag 3A — filière SLE Grenoble-INP Notions Avancé en SystemC/TLM

Matthieu Moy

Matthieu.Moy@imag.fr

2015-2016



Planning approximatif des séances

- 1 Introduction : les systèmes sur puce
- 2 Introduction : modélisation au niveau transactionnel (TLM)
- 3 Introduction au C++
- 4 Présentation de SystemC, éléments de base
- 5 Communications haut-niveau en SystemC
- 6 Modélisation TLM en SystemC
- 7 TP1 : Première plateforme SystemC/TLM
- 8 Utilisations des plateformes TLM
- 9 TP2 (1/2) : Utilisation de modules existants (affichage)
- 10 TP2 (2/2) : Utilisation de modules existants (affichage)
- 11 **Notions Avancé en SystemC/TLM**
- 12 TP3 (1/3) : Intégration du logiciel embarqué
- 13 TP3 (2/3) : Intégration du logiciel embarqué
- 14 TP3 (3/3) : Intégration du logiciel embarqué
- 15 05/01 : Intervenant extérieur : Jérôme Cornet
- 16 Perspectives et conclusion

Sommaire

- 1 Bug, or not Bug?
- 2 Optimisations de Performances
- 3 Questions de Sémantique
- 4 Power and Temperature Estimation

What is a bug?

- 1 Launch a SystemC/TLM simulation
- 2 It produces incorrect result

Question



Good news or bad news?

A Few Kinds of Model/Simulator's Bugs

- Hardware bug:
 - 1 **Simulator** design bug, corresponding to a real hardware bug 😊
 - 2 Simulator programming error, irrelevant in real hardware 😞
- **Software** bug: software doesn't run properly on simulator
 - 1 Because software is buggy? 😊
 - 2 Because simulator is not faithful? 😞

What Can we Expect from the Model?

Software **runs** on TLM ⇒ Software **runs** on real chip



Software **doesn't run** on real chip

⇒ Software **doesn't run** on TLM

Another Kind of "Bug"

- Up to now:
 - ▶ Hardware Model doesn't work
 - ▶ Software doesn't run on hardware model
- What about:
 - ▶ Software **does** run on hardware model, but **not** on real chip

Hiding bugs ≠ Fixing bugs

Sets of Behaviors, Faithfulness

- An ideal TLM model ...
 - ▶ Should exhibit **all** behaviors of the real system
 - ▶ May exhibit **more** behaviors than the real system
 - ▶ Should not exhibit "**too many**" unrealistic behaviors

(Counter) Examples

TLM should exhibit **all** behaviors of the real system (1/2)

Software CPU1

```
compute_img(&buf);  
img_computed = 1;
```

Software CPU2

```
while (img_computed != 1)  
    continue;  
read_img(&buf);
```

Question



Are all interleavings correct?

(Counter) Examples

TLM should exhibit **all** behaviors of the real system (2/2)

(Incorrect) Software CPU1

```
img_computed = 1;  
compute_img(&buf);
```

Software CPU2

```
while (img_computed != 1)  
    continue;  
read_img(&buf);
```

Question



Are all interleavings correct?

Question



Will we see the bug in a simulation?

(Counter) Examples

TLM may exhibit **more** behaviors than the real system

Software CPU1

```
compute_img(&buf);  
img_computed = 1;
```

Software CPU2

```
count=0;  
while (img_computed != 1)  
    count++;  
assert(count == 3);  
read_img(&buf);
```

(Counter) Examples

TLM should not exhibit **"too many"** unrealistic behaviors

Software CPU1

```
dest = stg_fast();
```

Software CPU2

```
stg_very_slow();  
do_stg_with(dest);
```

- No explicit synchronization between `dest = ...` and access to `dest ...`
- ... but do we want to see this bug?

Set of Behaviors and Non-Determinism

- TLM models should exhibit **several** behaviors
- Several possibilities \Rightarrow non-determinism
- Implementing non-determinism:
 - ▶ Formal verification approach: exhaustive exploration
 - ▶ Simulation approach: random

An Example of Non-Determinism: Loose Timing

```
// generates a pseudo-random float  
// between 0.0 and 0.999...  
float randfloat()  
{  
    return rand() / (float)(RAND_MAX + 1);  
}  
  
// loose timing  
void pv_wait (x) {  
    wait(x * (randfloat() + 0.5));  
}
```

Question



What does it do?

Transaction bloc

Avant

```
for (ensitlm::addr_t ad = ad0;  
     ad < ad0+size; ad++) {  
    write(socket, ad,  
          data[ad]);  
}
```

Après

```
// 1 echange atomique  
block_write(socket, ad, data, size);
```

- Grosse granularité
- Beaucoup plus rapide en simulation

Question



Perd-t-on en fidélité ?

Timing approximé et découplage temporel

- Constat : les context-switch sont lents.
- Conséquence 1 : `wait` coûte cher !
- Conséquence 2 : on évite de mettre des `wait`.

Timing approximé et découplage temporel

- **Problème :**
 - ▶ En PVT, granularité de temps fine.
 - ⇒ 1 wait pour chaque avancement du temps.
 - ⇒ simulation lente.
- **Solution proposée en TLM 2:**
 - ▶ Chaque processus peut être « en avance » sur le temps global.
 - ▶ (L'avance correspond à l'argument `sc_time` des méthodes transport de TLM-2, ignoré dans ENSITLM)
 - ▶ Quand faire les `wait()` (i.e. laisser le reste de la plate-forme rattraper notre avance) ?
 - ★ **Quantum Keeping:** Si on est plus « en avance » que le quantum (constante de temps choisie par l'utilisateur)
 - ★ **Synchronisation explicite:** Avant (ou après ?) les points de synchronisation

Timing approximé et découplage temporel

Exemple

```
sc_time t = SC_ZERO_TIME; // local advance over SystemC time
local_computation(); // Instantaneous wrt SystemC
t += sc_time(12, SC_NS); // don't wait() now
other_computation();
t += sc_time(3, SC_NS);
socket.write(addr, data, t); // may update t
wait(t); t = SC_ZERO_TIME; // Catch-up with SystemC time
send_interrupt();
```

Question



Quels sont les problèmes ?

Parallélisation de SystemC

- **Paradoxe:**
 - ▶ Les systèmes sur puces sont parallèles
 - ▶ SystemC a une notion de processus
 - ▶ SystemC n'exploite qu'un processeur !
- **Solution (très) naïve:**
 - ▶ 1 SC_THREAD → 1 pthread
 - ▶ On lance tout en parallèle.
 - ⇒ beaucoup de pthreads, ne passe pas à l'échelle.
- **Solution moins naïve:**
 - ▶ N processeurs → $\approx N$ pthreads.
 - ▶ Gestion du mapping « processus SystemC » ↔ pthread dans le kernel SystemC.

Question



Où est le problème ?

Parallélisation de SystemC

- Si on veut faire les choses proprement:
 - ▶ Analyse statique des dépendances de données
 - ▶ Prise en compte à l'exécution
 - ▶ (e.g. DRT de Yussef Bouzouzu, 2007—2 ans de travail)
 - ▶ ⇒ on sort du principe « SystemC, c'est facile à compiler, g++ le fait très bien ».
- **Problème restant:**
 - ▶ Parallélisation « à l'intérieur du δ -cycle », mais exécuter en parallèle des processus censés s'exécuter à différents instants de `simu` = difficile.
- **Solutions envisageables:**
 - ▶ Profiter du découplage temporel pour paralléliser
 - ▶ Tâches avec durée (cf. jTLM, et maintenant sc-during)

Parallélisation de SystemC : conclusion

- C'est dur
- La plupart des gens qui le font ne se soucient pas de préservation de la sémantique
- Solution en pratique : lancer N simulations sur $< N$ machines !
- Il faut peut-être un autre langage ?

Accélération des simulations SystemC

- Code interne aux composants = C++
⇒ g++ -O3 et le tour est joué (ou pas)
- Context-switch = cher :
 - ▶ Scheduling
 - ▶ Sauvegarde/restauration de tous les registres
 - ▶ Changement du pointeur de pile ⇒ cache-miss
 - ▶ Changement du compteur programme ⇒ vidage de pipeline
- Transactions = cher:
 - ▶ Plusieurs appels de méthodes virtuelles (⇒ non inline-ables)
 - ▶ Décodage d'adresse
 - ▶ ⇒ Là où la vraie plateforme fait un `load/store`, le code TLM exécute du code difficile à optimiser.

Accélération des simulations SystemC Minimiser le coût du au context-switch

- Utilisation de `SC_METHOD` à la place des `SC_THREAD` (pas toujours possible)
- Minimisation du nombre de `wait` à exécuter
- Scheduling statique (<http://www.cprover.org/scoot/>: plus de travail à la compilation, simulation 2 à 6 fois plus rapide sur des exemples)

Accélération des simulations SystemC Minimiser le coût du aux transactions

- DMI = Direct Memory Interface: on récupère un pointeur sur la zone mémoire intéressante, et on fait des accès sans passer par le bus.

Question



Quel est le problème ?

- Techniques de compilation spécifiques : lancer une passe d'optimisations après l'élaboration (prototype basé sur LLVM développé au LIAMA et à Verimag)

Question



Quel est le problème ?

Vérification Formelle de SystemC

- Plusieurs approches :
 - Compilation de SystemC vers des langages sources des outils de preuve
 - ★ Front-end SystemC dédié
 - ★ Modélisation de toutes les constructions SystemC
 - ★ (c'était ma thèse ...)
 - Exploration exhaustive de l'espace d'état à l'exécution
 - ★ stateless: on explore tous les ordonnancements de taille $< N$
 - ★ statefull: on ajoute la possibilité de mémoriser et de comparer des états (\Rightarrow construction de l'espace d'état entier)
 - En général, problème de passage à l'échelle (state explosion)

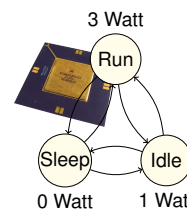
Power and Temperature Estimation

Question



How?

Power estimation in TLM: Power-state Model

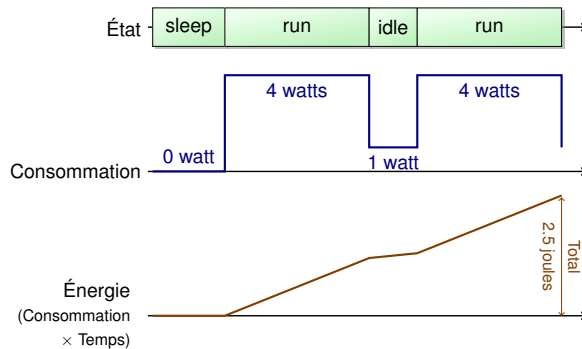


```

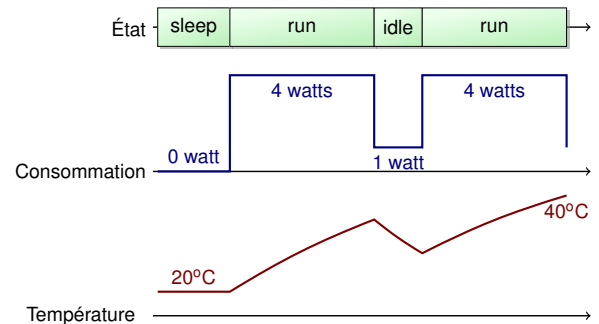
// SystemC thread
void compute() {
    while (true) {
        set_state("run");
        f();
        wait(10, SC_MS);
        set_state("idle");
        wait(irq);
    }
}
    
```

- Consumption depends on:
 - Activity state (switching activity inside component)
 - Electrical state (voltage, frequency)
 - Traffic (stimulation by other components)

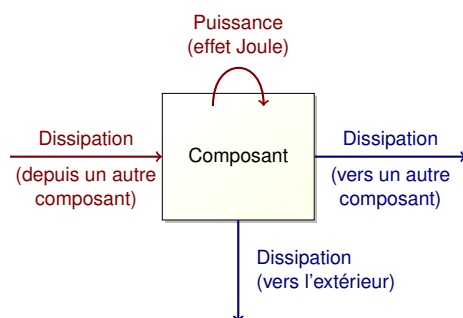
Des états à la consommation



De la consommation à la température

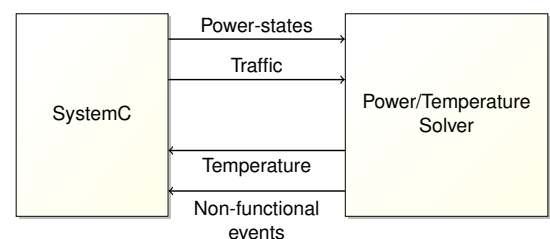


Puissance consommée, température, et dissipation de chaleur



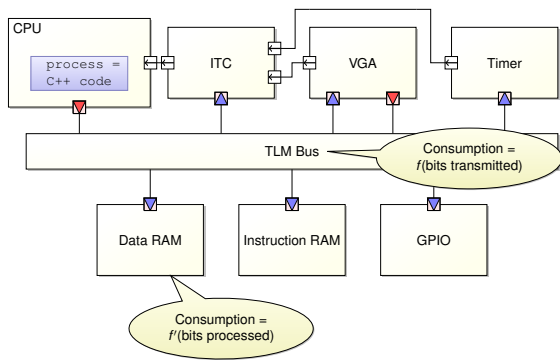
~ système d'équation différentielles, résolu par des solveurs dédiés

SystemC and Temperature Solver Cosimulation



Functionality can depend on non-functional data
(e.g. validate power-management policy)

Traffic Models



Traffic Model and Loosely Timed Models

